

Spécialité : PHYSIQUE / Physique de la matière condensée

[Laboratoire : /SPEC/LNO](#)

## Dynamique de l'aimantation dans des nanostructures magnétiques

**Responsable de stage : DE-LOUBENS Gregoire**

gregoire.deloubens@cea.fr

Tel : +33 1 69 08 71 60

Stage pouvant se prolonger en thèse : Oui

Durée du stage : 5 mois

**Résumé:**

Ce stage expérimental consistera à étudier les régimes linéaires et non-linéaires de la dynamique de l'aimantation dans des nanostructures individuelles. Il s'effectuera dans le cadre d'un projet ANR dont le but est de démontrer la manipulation d'ondes de spin cohérentes et de forte amplitude dans des dispositifs combinant des concepts de la magnonique et de l'électronique de spin. Ce travail se poursuivra par une thèse financée.

**Sujet :**

Un des buts actuels de l'électronique de spin est de développer une technologie de l'information durable basée sur le transport de purs courants de spin. Pour cela, une approche prometteuse consiste à marier spintronique et magnonique afin d'exciter, contrôler et détecter des ondes de spin, ou leurs quanta nommés magnons, de fréquences et longueurs d'ondes caractéristiques du gigahertz au térahertz et du micromètre au nanomètre, respectivement [1]. Dans ce contexte, le YIG, un grenat d'yttrium fer ferrimagnétique isolant, est un matériau de choix car le temps de vie des ondes de spin y est particulièrement long. En outre, ce dernier peut être contrôlé par un courant électrique injecté dans une couche de platine adjacente grâce au couple de transfert de spin [2,3]. Ce couple d'origine spin-orbite permet également de générer des auto-oscillations de l'aimantation [4]. Il est maintenant crucial de comprendre et contrôler les propriétés non-linéaires de ces dispositifs hybrides. Celles-ci découlent directement de l'équation du mouvement de l'aimantation et sont au cœur de leur fonctionnement puisqu'elles gouvernent le type de dynamique généré par le couple spin-orbite [5,6]. Pour contrôler le spectre d'excitations et les propriétés non-linéaires, il est possible de jouer sur la nanostructuration du film magnétique [7] et sur le matériau lui-même, en particulier en contrôlant son anisotropie magnétique perpendiculaire [8]. L'objet du stage sera donc de mesurer le spectre d'ondes de spin et les propriétés non-linéaires de nanostructures de YIG dopé au Bismuth. Pour cela, on s'appuiera sur un outil unique développé au laboratoire, un microscope de force à résonance magnétique (MRFM). Cette technique de champ proche très sensible utilise une sonde magnétique placée à l'extrémité d'un levier mécanique très souple pour détecter la dynamique de l'aimantation dans des nanostructures individuelles [9].

[1] A. Chumak, et al., Magnon spintronics, Nature Phys. 11, 453-461 (2015)

[2] A. Hamadeh, et al., Full Control of the Spin-Wave Damping in a Magnetic Insulator Using Spin-Orbit Torque, Phys. Rev. Lett. 113, 197203 (2014)

[3] M. Evelt, et al., High-efficiency control of spin-wave propagation in ultra-thin yttrium iron garnet by the spin-orbit torque, Appl. Phys. Lett. 108, 172406 (2016)

[4] M. Collet, et al., Generation of coherent spin-wave modes in yttrium iron garnet microdiscs by spin-orbit torque,

Nature Commun. 7, 10377 (2016)

[5] V. Demidov, et al., Direct observation of dynamic modes excited in a magnetic insulator by pure spin current, Sci. Rep. 6, 32781 (2016)

[6] M. Evelt, et al., Emission of coherent propagating magnons by insulator-based spin-orbit torque oscillator, arXiv:1807.09976

[7] C. Hahn, et al., Measurement of the intrinsic damping constant in individual nanodisks of Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> and Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>/Pt, Appl. Phys. Lett. 104, 152410 (2014)

[8] L. Soumah, et al., Ultra-low damping insulating magnetic thin films get perpendicular, Nature Commun. 9, 3355 (2018)

[9] O. Klein, et al., Ferromagnetic resonance force spectroscopy of individual submicron-size samples, Phys. Rev. B 78, 144410 (2008)

---

## Magnetization dynamics in magnetic nanostructures

### Abstract:

The aim of this experimental internship is to study the linear and nonlinear regimes of magnetization dynamics in individual nanostructures. This will take place in the framework of an ANR project whose goal is to demonstrate the manipulation of high amplitude coherent spin waves in devices combining concepts of magnonics and spintronics. A funded PhD thesis will follow.

### Subject :

One current goal of spintronics is the development of a sustainable information technology based on the transport of pure spin currents. For this, a promising approach is to combine spintronics and magnonics to excite, control and detect spin waves, or their quanta magnons, with characteristic frequencies and wavelengths from GHz to THz and from  $\mu\text{m}$  to nm, respectively. In this context, YIG, an insulating yttrium iron garnet, is a material of choice because of its particularly long spin-wave relaxation time. Moreover, the latter can be controlled by an electrical current injected in an adjacent layer of platinum thanks to spin transfer torque [2,3], This torque of spin-orbit origin also allows the generation of auto-oscillations of the magnetization [4]. It is now timely to understand and control the nonlinear properties of these hybrid devices. These nonlinear properties, directly inherited for the equation of motion of magnetization, are crucial since they govern the type of dynamics generated by spin-orbit torque [5,6]. To control the excitation spectrum and the nonlinear properties, it is possible to nanopattern the magnetic film [7] and to engineer the properties of the material itself, in particular its perpendicular magnetic anisotropy [8]. The aim of this internship will thus be to measure the spin wave spectrum and the nonlinear properties of Bismuth doped YIG nanostructures. For this, a unique home made equipment, a magnetic resonance force microscope (MRFM), will be used. This very sensitive near field microscopy technique uses a magnetic probe attached at the end of a very soft mechanical cantilever to detect magnetization dynamics in individual nanostructures [9].

[1] A. Chumak, et al., Magnon spintronics, Nature Phys. 11, 453-461 (2015)

[2] A. Hamadeh, et al., Full Control of the Spin-Wave Damping in a Magnetic Insulator Using Spin-Orbit Torque, Phys. Rev. Lett. 113, 197203 (2014)

[3] M. Evelt, et al., High-efficiency control of spin-wave propagation in ultra-thin yttrium iron garnet by the spin-orbit torque, Appl. Phys. Lett. 108, 172406 (2016)

[4] M. Collet, et al., Generation of coherent spin-wave modes in yttrium iron garnet microdiscs by spin-orbit torque, Nature Commun. 7, 10377 (2016)

[5] V. Demidov, et al., Direct observation of dynamic modes excited in a magnetic insulator by pure spin current, Sci. Rep. 6, 32781 (2016)

[6] M. Evelt, et al., Emission of coherent propagating magnons by insulator-based spin-orbit torque oscillator, arXiv:1807.09976

- [7] C. Hahn, et al., Measurement of the intrinsic damping constant in individual nanodisks of Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> and Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>/Pt, *Appl. Phys. Lett.* 104, 152410 (2014)
- [8] L. Soumah, et al., Ultra-low damping insulating magnetic thin films get perpendicular, *Nature Commun.* 9, 3355 (2018)
- [9] O. Klein, et al., Ferromagnetic resonance force spectroscopy of individual submicron-size samples, *Phys. Rev. B* 78, 144410 (2008)
-